

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS

TEMA:
REDUCCIÓN DEL PAPR MEDIANTE TÉCNICAS DE CLIPPING Y PEAK
WINDOWING EN SISTEMAS MULTIPORTADORAS FBMC

AUTORES:
CRISTIAN PAUL MUSUÑA ROJAS
FRANCO LENÍN CAIZA LLUMIQUINGA

TUTOR:
MILTON NAPOLEÓN TIPÁN SIMBAÑA

Quito, julio del 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Cristian Paul Musuña Rojas y Franco Lenín Caiza Llumiquinga, con documento de identificación N° 1723591200 y 1720185618 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: “REDUCCIÓN DEL PAPR MEDIANTE TÉCNICAS DE CLIPPING Y PEAK WINDOWING EN SISTEMAS MULTIPORTADORAS FBMC”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

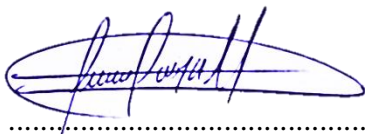
Quito, julio de 2018



.....

Nombre: Cristian Paul Musuña Rojas

Cédula: 1723591200



.....

Nombre: Franco Lenín Caiza Llumiquinga

Cédula: 1720185618

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, REDUCCIÓN DEL PAPR MEDIANTE TÉCNICAS DE CLIPPING Y PEAK WINDOWING EN SISTEMAS MULTIPORTADORAS FBMC, realizado por Cristian Paul Musuña Rojas y Franco Lenín Caiza Llumiquinga, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, julio de 2018



Milton Napoleón Tipán Simbaña

C.I: 1713583126

DEDICATORIA

A Dios ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera. A mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona. A mis hermanos, amigos y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

Cristian Paul Musuña Rojas

A Dios por la bendición de darles la fortaleza y salud a mis padres, y ellos apoyarme para de esta manera poder culminar con esta etapa de mi vida.

Franco Lenín Caiza Llumiquinga

REDUCCIÓN DEL PAPR MEDIANTE TÉCNICAS DE CLIPPING Y PEAK WINDOWING EN SISTEMAS MULTIPORTADORAS FBMC

Cristian Paul Musuña Rojas¹, Franco Lenín Caiza Llumiquinga², Milton N. Tipán³

Resumen

Una comparación de la técnica de recorte clásico con la técnica de ventana pico para las ventanas de hamming, hanning y kaiser para reducir el PAPR en una señal FBMC sobre un canal AWGN es presentada. Las técnicas son analizadas probabilísticamente mostrando que la técnica de recorte clásico reduce el PAPR más que la técnica de ventana pico kaiser para una longitud de 4 que es la que más reduce de las técnicas de ventana pico. Entonces, sus desempeños mediante el BER fueron evaluados sobre un canal AWGN, mostrando la técnica de recorte clásico tiene un mejor desempeño que las técnicas de ventana pico.

Palabras Clave: FBMC, PAPR, Técnica de recorte, Ventana pico.

Abstract

A comparison of the classical clipping technique with the peak window technique for hamming, hanning and kaiser windows to reduce PAPR in an FBMC signal over an AWGN channel is presented. The techniques are probabilistically analyzed by showing that the classic clipping technique reduces PAPR more than the kaiser peak windowing technique for a length of 4 which is the one that reduces the most among the peak window techniques. So, their performances through BER were evaluated over an AWGN channel. Showing the classic clipping technique has better performance than peak windowing techniques.

Keywords: FBMC, PAPR, Clipping Technique, Peak windowing.

1. Introducción

Las nuevas aplicaciones tales como televisión de alta definición (HDTV), realidad Virtual, e internet de las cosas (IoT), imponen en las redes inalámbricas mayor velocidad de datos, baja latencia, fiabilidad y calidad de servicio [1]. Para la quinta generación de sistemas inalámbricos (5G) se proponen algunas técnicas multipotadoras en reemplazo de la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (Orthogonal Frequency

Division Multiplexing, OFDM), así tenemos, multipotadoras que usan bancos de filtros (Filter Bank Multicarrier, FBMC), Multiplexación por división de frecuencia generalizada (Generalized Frequency Division Multiplexing, GFDM) y multipotadoras de filtros universales (Universal Filtered Multi-Carrier, UFMF) [2].

Uno de los inconvenientes que se presenta en el sistema FBMC es el alto valor que tiene la

¹ Estudiante de Ingeniería Electrónica – Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador
Correo electrónico: cmusuna@est.ups.edu.ec

² Estudiante de Ingeniería Electrónica – Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador
Correo electrónico: fcaiza@est.ups.edu.ec

³ Docente, esta con el grupo de investigación GIETEC de la Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador
Correo electrónico: mtipans@ups.edu.ec

relación de la potencia pico con la potencia promedio (PAPR- Peak to Average Power Ratio). El PAPR reduce la eficiencia de los amplificadores de potencia y causa distorsión de la señal, causando degradación en el sistema de transmisión [3]. Varios métodos para reducir el PAPR han sido usados para OFDM como: los métodos de recorte (Clipping) y los métodos de ventana (Ventana pico) [4]. Clipping y ventana pico minimizan la complejidad del sistema, y son independientes del número de subportadoras [5]. En este artículo, se realiza una comparación de los métodos de recorte clásico (Classic Clipping) con los métodos de ventana (Hanning, Hamming y Kaiser), evaluando su desempeño respecto a la tasa de bits con errores (bit error rate., BER) en un canal con ruido blanco aditivo gaussiano (Additive White Gaussian Noise, AWGN).

2. Definición del PAPR y métodos de recorte y ventana

A. PAPR

En el sistema multiportadora FBMC los símbolos QAM mapeados digitalmente son procesados mediante el bloque Offset-QAM el cual varía la fase de los símbolos QAM permitiendo que estos sean solo valores reales o imaginarios y ya no complejos, entonces cada subportadora es filtrada a través de un filtro prototipo $p[t]$, lo que permite que se atenúen los lóbulos secundarios y haya menos interferencia entre subportadoras; este filtro consta de un factor K llamado factor de solapamiento (Overlapping factor) el cual es la relación entre la duración de la respuesta frecuencial del filtro y la longitud del símbolo en la sub-portadora. Luego, la señal es pasada al dominio del tiempo mediante la transformada inversa de Fourier (Inverse Fast Fourier Transform, IFFT) de $N \cdot K$ puntos, para obtener la señal FBMC la misma que puede expresarse como [6]:

$$g[t] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{b=0}^{N-1} (\theta_b R\{X_m[b]\} p[t - mN] +$$

$$\theta_{b+1} I\{X_m[b]\} p[t - mN - \frac{N}{2}]) e^{jb(t-mN)\frac{2\pi}{N}} \quad (1)$$

Con

$$\theta_b = \begin{cases} 1, & \text{si } b \text{ es par} \\ j, & \text{si } b \text{ es impar} \end{cases}$$

Donde $X_m[b]$ es el símbolo de entrada complejo en cada subportadora b en cada tiempo m ; $R\{\cdot\}$ e $I\{\cdot\}$ representa los componentes reales e imaginarios respectivamente, N representa el número de subportadoras y $p[t]$ es el filtro prototipo.

Debido a que la señal FBMC tiene picos de potencia hace que el amplificador de potencia (High Power Amplifier, HPA) opere cerca de la región de saturación, produciendo un incremento en los errores [7]. El PAPR es una medida que se obtiene relacionando el valor de potencia pico y el valor de potencia promedio, y se puede definir según la siguiente expresión [8]:

$$PAPR(dB) = 10 \log \left\{ \frac{\max[|g(t)|^2]}{E[|g(t)|^2]} \right\} \quad (2)$$

Donde $E[\cdot]$ es la esperanza matemática. Para mejorar la eficiencia del HPA y reducir la distorsión no lineal, métodos de clipping y ventana pico han sido propuestos.

Reescribiendo la señal $g(t)$ en tiempo discreto se tendrá $g[n]$ que en coordenadas polares equivale a tener, donde s representa la amplitud y θ representa la fase de la señal.

B. Técnica de Recorte Clásico (Classic Clipping - CC)

Esta técnica toma los valores de la señal $g(t)$ (en tiempo discreto $g[n] = s \cdot e^{j\theta}$) que sobrepasen un nivel de recorte C y fija la señal en dicho nivel, siempre manteniendo la fase de la señal sin cambios. La función de clipping clásico es definida por [9]:

$$g(s) = \begin{cases} s, & s \leq C \\ C, & s > C \end{cases} \quad (3)$$

Donde s es la parte absoluta de la señal a recortar y C es el nivel de recorte.

C. Ventana Hanning

Las técnicas de ventanas para reducir el PAPR se basan en reducir las emisiones fuera de banda (Out Off Band, OOB), mediante una función $h(n)$ que se multiplica por la función, esta puede expresarse como [10]:

$$g_{pw}(s) = \begin{cases} s, & s \leq C \\ 1 - s \cdot h, & s > C \end{cases} \quad (6)$$

Donde $g_{pw}(t)$ es la señal luego de reducir el PAPR mediante windowing. Hanning pertenece a una clase de ventanas de coseno general. El coeficiente de la ventana de Hanning se puede expresar en tiempo discreto como [11]:

$$f(n) = 0.5[1 - \cos\left(\frac{2\pi n}{L}\right)] \quad (5)$$

Para $n = 0, 1, 2, 3, \dots, L-1$. Donde L es la longitud de la ventana.

D. Ventana Hamming

La función de ventana Hamming se puede expresar de la siguiente manera [11]:

$$f(n) = 0.54 - 0.42\cos\left(\frac{2\pi n}{L}\right) \quad (6)$$

Para $n = 0, 1, 2, 3, \dots, L-1$. Donde L es la longitud de la ventana.

E. Ventana Kaiser

La ventana de Kaiser también se conoce como función de ventana de Kaiser-Bessel. La función de ventana de Kaiser se puede expresar de la siguiente manera [11]:

$$f(n) = \frac{I_0(\alpha \sqrt{1 - \left(\frac{2n}{L-1} - 1\right)^2})}{I_0(\alpha)} \quad (7)$$

Donde $I_0(\cdot)$ es la función de Bessel modificada de orden cero de primera especie, α es el factor de atenuación y L es la longitud de la ventana.

3. Modelo de simulación de FBMC

Un sistema multiportadora FBMC con 60000 subportadoras 16-QAM con un factor de solapamiento de $K=4$ fue realizado con el objetivo de realizar la comparación de los métodos de reducción del PAPR antes mencionados.

Entonces, una de las técnicas de reducción del PAPR es aplicada y la señal es transmitida por un canal AWGN, el modelo del transmisor del sistema FBMC se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 1.

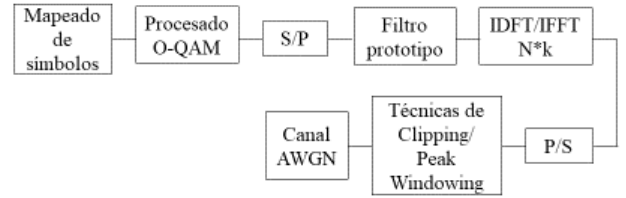


Figura 1. Diagrama de Bloques del transmisor FBMC

En el receptor la señal recibida es pasada al dominio de la frecuencia mediante la transformada de Fourier (FFT) de $N \cdot K$ puntos. Luego está es procesada mediante el demodulador O-QAM, y los símbolos QAM son demodulados digitalmente para obtener los bits recibidos observados en la Figura 2. Donde (\cdot) representa la multiplicación.

El sistema fue implementado en Matlab®R2017a.

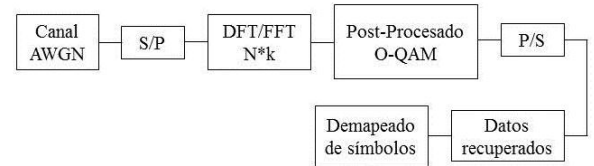


Figura 2. Diagrama de Bloques del receptor FBMC

4. Resultados y discusión

Debido a la reducida posibilidad de que picos de potencia aparezcan en la señal, se realizó un análisis estadístico, generando todas las posibilidades de los símbolos 16-QAM. La Figura 3(a) y 3(b) muestran los resultados de la parte real y magnitud de la señal FBMC.

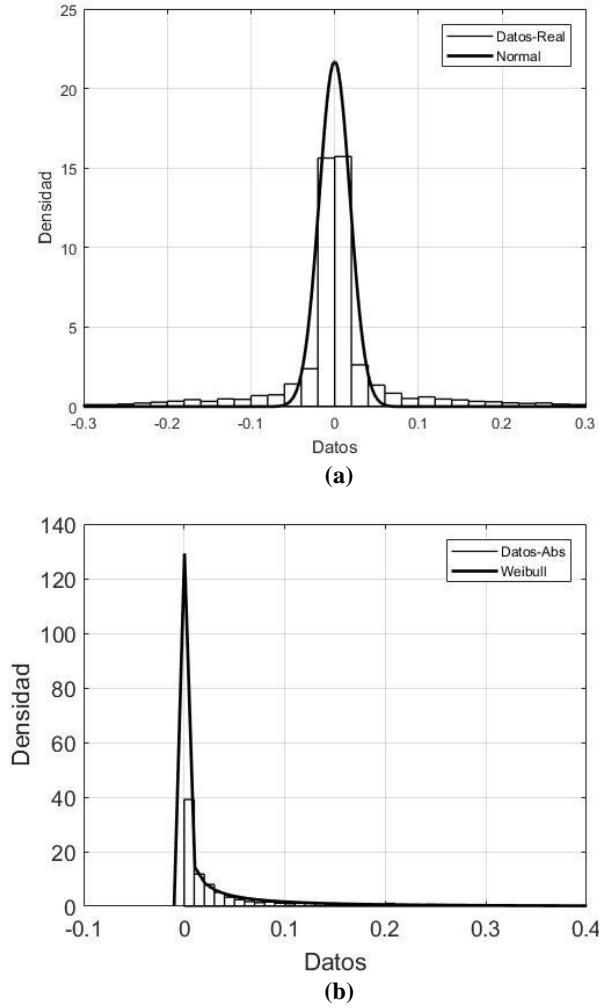


Figura 3. Densidad de Probabilidad para FBMC. (a) Señal real, (b) Señal absoluta

Una distribución normal fue ajustada con media igual a cero y varianza 0.0183 para la parte real e imaginaria. Además, para la magnitud de la señal una distribución de Weibull fue observada con media y varianza de 0.084 y 0.035 respectivamente.

Luego, una evaluación del PAPR es realizada mediante el uso de la función de distribución acumulada complementaria (CCDF) definida por [12].

$$CCDF(w) = P_r\{PAPR \geq w\} \quad (8)$$

La cual indica la probabilidad de sobrepasar un nivel de potencia instantánea w . Para la elección del nivel de recorte de la señal, una transmisión directa sin tomar en consideración el canal de transmisión (back to back, BtB) fue realizada,

recortando la señal en percentiles. La Figura 4 muestra que el percentil 50 es adecuado para para un $BER=10^{-4}$, suficiente para aplicar técnicas de corrección de errores hacia adelante (Forward Error Correction, FEC).

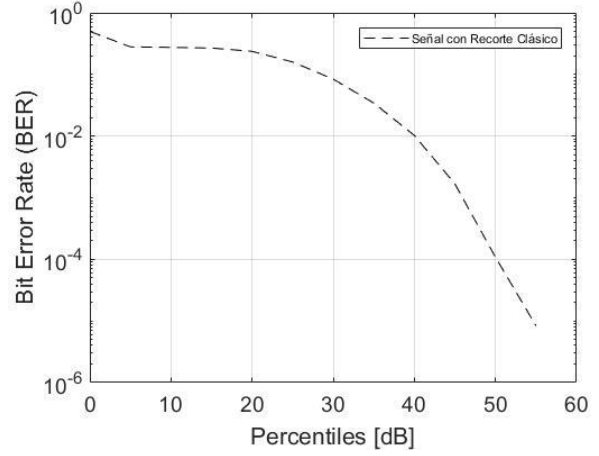


Figura 4. BER vs Percentil para Recorte Clásico

Entonces, una comparación del PAPR de las ventanas de hanning, hamming y Kaiser fue realizada para longitudes de $L=4$ y $L=6$. Un comportamiento similar entre las ventanas de hamming y hanning es encontrado para ambas longitudes. La ventana de Kaiser para $L=4$ y $L=6$ tienen un comportamiento similar y además es la que produce la mayor reducción del PAPR en aproximadamente 3.9 dB más que los 3.3 dB y 3.1 dB de reducción de hamming y hanning para $L=4$ y $L=6$ respectivamente para un CCDF de 10^{-2} . La Figura 5 muestra esta comparativa.

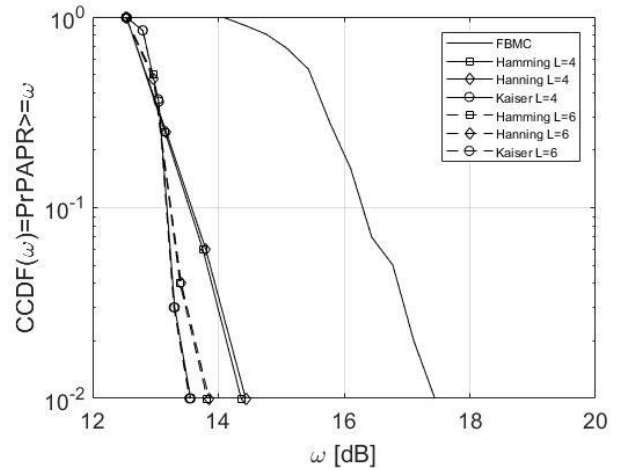


Figura 5. PAPR vs ventana pico para hamming, hanning y kaiser para $L=4$ y $L=6$;

Luego, una comparativa respecto al BER fue

realizada para la ventana de Kaiser para $L=4$ y $L=6$ en un canal AWGN. Aunque, la ventana de Kaiser con $L=6$ recorta más la señal, también produce una distorsión mayor incrementando el BER con un penalti de 0.6 dB respecto a la ventana de Kaiser con $L=4$ para un $BER=10^{-4}$, como se observa en la Figura 6.

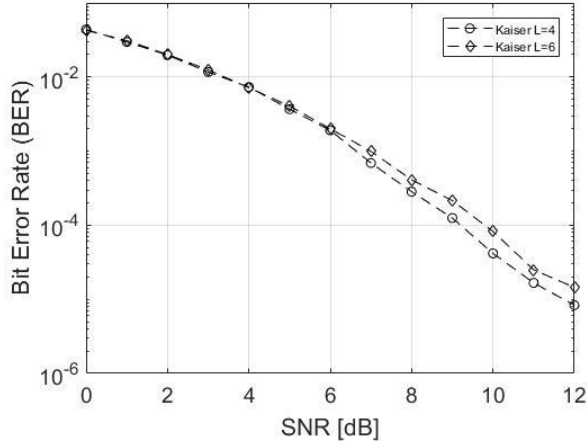


Figura 6. BER vs ventana pico para Ventana Kaiser

Teniendo ya los valores de recorte, tipo de ventana y su longitud adecuadas una comparativa respecto al PAPR entre las técnicas de recorte clásico y la ventana de Kaiser con $L=4$ fue realizada. La técnica de recorte clásico es la que más reduce el PAPR en 4.2 dB, 0.3 dB más que la de técnica de ventana de Kaiser, para un CCDF de 10^{-2} , como se muestra en la Figura 7.

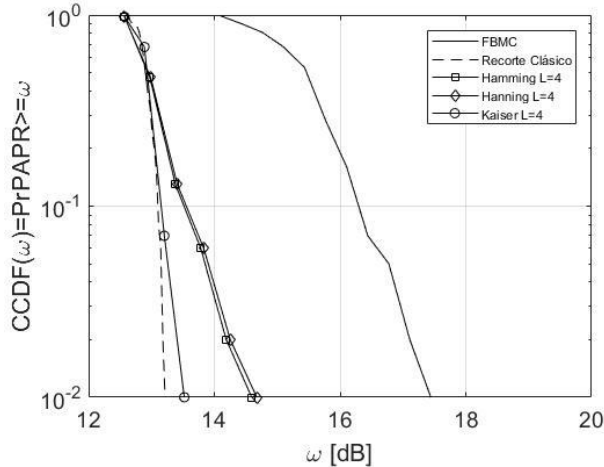


Figura 7. PAPR con técnicas de recorte clásico y ventana pico con $L=4$.

Finalmente, las técnicas de recorte clásico y tres técnicas de ventana pico fueron comparadas en un canal AWGN. En la Figura 8 se observa una penalización aproximadamente de 0.48 dB para la

técnica de recorte clásico y 2.2 dB para la técnica de ventana pico con Kaiser para $L=4$ con respecto a una señal FBMC $BER=10^{-4}$. Esta apreciación es claramente observada en la Figura 9 que muestra la señal original (Figura 9a), la señal de recorte clásico (Figura 9b) y la señal con ventana Kaiser $L=4$ (figura 9c).

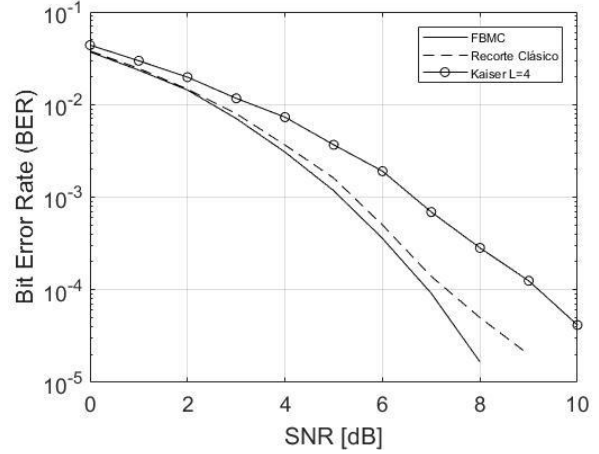
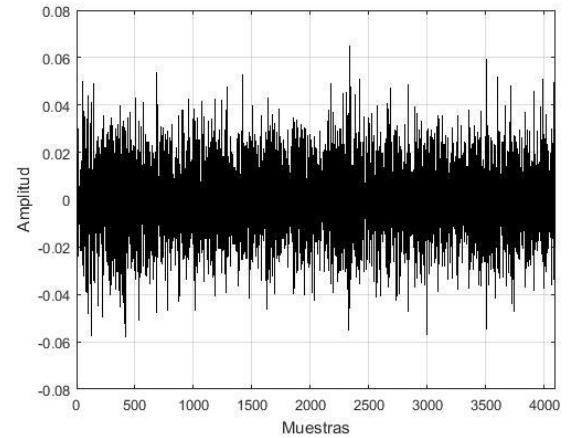
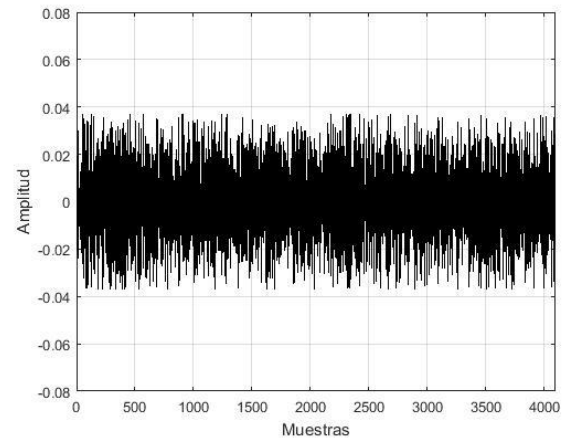


Figura 8. BER vs SNR para recorte clásico y ventana pico con ventana Kaiser para un percentil 50.



(a)



(b)

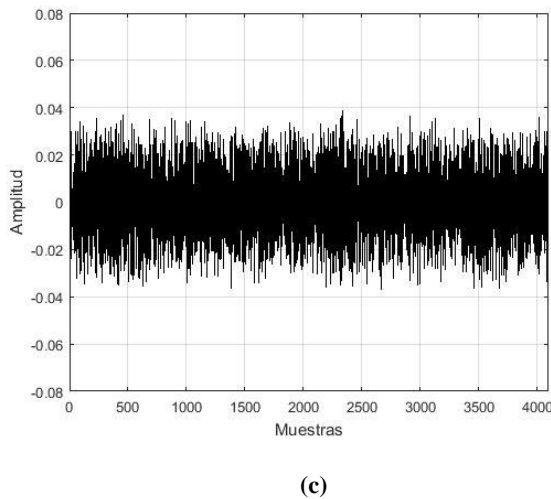


Figura 9. Señal FBMC. (a) Sin técnicas, (b) Recorte Clásico, (c) Ventana pico con Kaiser L=4

6. Conclusión

Una comparación de la técnica de recorte clásico y ventana pico para ventanas de hamming, hanning y Kaiser para reducción del PAPR en una señal FBMC en un canal AWGN fue realizado. Los resultados muestran un comportamiento similar en la reducción del PAPR de las técnicas de ventana de hamming y hanning, superadas por la de kaiser con longitud de 4 pero inferior a la técnica de recorte clásico; la cual es la que más reduce el PAPR logrando una mejora de aproximadamente 0.3 dB más que la ventana de kaiser.

Referencias

[1] Thorsten Wild, Frank Schaich, Yejian Chen, «5G Air Interface Design based on Universal Filtered (UF-)OFDM,» *IEEE*, 2014.

[2] Milton N. Tipán, Javier Cáceres, Mariela N. Jiménez, Iván N. Cano, Germán Arévalo, «Comparison of Clipping Techniques for PAPR Reduction in UPMC Systems,» *Latincom 2017*, 2017.

[3] J. H. X. X. Liang Yao, «Analysis and Comparison of Two Clipping Methods

in PAPR Reduction for OFDM System,» *IEEE*, 2012.

[4] Soad . T . Abed, Zena . E . Dallalbashi, Faten . A . Taha ., «Studying The Effect of Window type On Power Spectrum Based On Mat Lab,» *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 2012.

[5] M. F. R. K. Singh, «An Efficient P APR Reduction Scheme for OFDM System using Peak Windowing and Clipping,» *IEEE*, 2015.

[6] SandeepKumar Vangala, Dr.S.Anuradha, «Overlapped Smart Gradient Projection Tone Reservation PAPR Reduction for FBMC/OQAM Signals,» *IEEE*, 2015.

[7] Kelvin Anoh, Cagri Tanriover, Bamidele Adebisi, «On the Optimization of Iterative Clipping and Filtering for PAPR Reduction in OFDM Systems,» *IEEE*, 2016.

[8] L. A. T. Quilumba, Simulación de la Técnica Constellation Extension de Reducción de la PAPR de los Sistemas OFDM, Quito, 2017.

[9] Désiré GUEL and Jacques PALICOT, «Analysis and comparison of clipping techniques for OFDM Peak-To-Average power ratio reduction,» *IEEE*, 2012.

[10] Guoguang Chen, Rashid Ansari, Yingwei Yao, «Improved Peak Windowing for PAPR Reduction in OFDM,» *IEEE*, 2009.

[11] M. A. U. Hrishi Rakshit, «A Comparative Study on Window Functions for,» *IEEE*, 2014.

[12] D. Guel and J. Palicot, «Analysis and comparison of clipping techniques for OFDM Peak-to-Average Power Ratio reduction,» *16th International Conference on Digital Signal Processing, Santorini-Hellas*, pp. 1-6, 2009.